

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RESPUESTA DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE A CONDICIONES DE EXPOSICIÓN CON Y SIN PROTECCIÓN DE GARITA METEOROLÓGICA

César AZORÍN-MOLINA*, ** Juan Carlos AZORÍN-MOLINA***

* *Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)*

** *Grup de Climatologia. Universitat de Barcelona*

*** *Licenciado en Biología. Universidad de Alicante*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo experimental es cuantificar la respuesta de la temperatura mínima del aire a condiciones de exposición termométrica con y sin protección de garita meteorológica. Para llevar a cabo este estudio se han registrado medidas simultáneas de la temperatura nocturna del aire dentro y fuera de garita en la estación meteorológica oficial de Villena-Ciudad (sureste de la Península Ibérica, PI; Alicante) durante un periodo anual (2007-2008). Los resultados preliminares muestran que la temperatura mínima del aire se subestima fuera del abrigo meteorológico debido a la radiación terrestre de onda larga; que la subestimación es más notable durante los meses de invierno en relación a una mayor irradiación nocturna respecto al periodo estival; y que la influencia de la humedad del aire sobre las diferencias térmicas es relativamente débil.

Palabras clave: Garita meteorológica, exposición termométrica, temperatura mínima del aire

ABSTRACT

The aim of this experimental work is to quantify the response of minimum air temperature to temperature exposure conditions with and without screen protection. For carrying out this study simultaneous measurements of night-time air temperature inside and outside the screen has been recorded in the official weather station of Villena-City (southeast region of the Iberian Peninsula, IP; Alicante) during 1-yr study period (2007-2008). The preliminary results show that minimum air temperature is underestimated outside the screen due to outgoing longwave radiation; this underestimation is more significant during winter months in relation to the greater night-irradiation than summer period; and the influence of air humidity on the thermal differences is relatively weak.

Keywords: *Screen, temperature exposure, minimum air temperature*

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) dispuso como método de observación convencional el que la temperatura del aire debe ser medida en el interior de garitas o abrigos

meteorológicos (WMO, 2006), con el objeto de proteger la exposición del instrumento sensor (termómetro) frente a la radiación solar directa y reflejada, de la radiación terrestre de onda larga, y de la precipitación y condensación, favoreciendo paralelamente una libre circulación del aire.

La medida de la temperatura del aire está afectada por múltiples factores (WARNE, 1999), entre los que destacan: el cambio en el observador, en las tareas de observación, en el instrumento de medida (QUAYLE *et al.*, 1991; GALL *et al.*, 1992), en la exposición del instrumento sensor (MITCHELL, 1953; JONES *et al.*, 1986; RICHARDSON y BROCK, 1995; BRUNET *et al.*, 2004), en la localización de la estación, etc. Todos estos factores introducen discontinuidades o “breaks” en las series largas de la temperatura del aire, que necesariamente deben ser corregidos con el objeto de asegurar la calidad de los datos utilizados (WARNE, 1999).

En relación a los cambios en la exposición del instrumento sensor, distintos modelos de abrigo termométrico han sido utilizados en la observación de la temperatura del aire desde época instrumental (PARKER, 1995), lo que ha introducido un sesgo artificial en las series largas de temperatura (BRUNET *et al.*, 2004). Una detallada revisión de las características técnicas de las principales garitas meteorológicas utilizadas a finales del s. XIX y comienzos del s. XX fue planteada por PARKER (1994). El abrigo abierto tipo Montsouris (o “Glaisher”, también conocido por los meteorólogos españoles del s. XIX como atril, facistol o protector so endeble techado; BRUNET *et al.*, 2004) fue utilizado en la mayoría de estaciones meteorológicas de la red española desde mediados del s. XIX hasta las primeras décadas del s. XX. Este soporte estuvo afectado por la radiación solar reflejada durante el día, y por la pérdida de calor radiativo durante la noche (MARGARY, 1924). A partir del s. XX casi todos los países utilizaron garitas ventiladas del tipo Stevenson, aunque también se han utilizado otros modelos: sin protección en paredes al norte o “north-wall”, cilindros de zinc, etc. En los últimos años el coste del tipo de garita Stevenson y el dificultoso mantenimiento, principalmente en lugares remotos, ha provocado la aparición de diseños alternativos en plástico-PVC (PERRY *et al.*, 2007), así como la proliferación de garitas multi-plato (“multiplate radiation shield”) con o sin aspirador en las estaciones meteorológicas automáticas (GILL, 1983; VAN DER MEULEN y BRANDSMA, 2008).

Durante las últimas décadas se han destinado muchos esfuerzos con el objeto de minimizar el efecto artificial introducido por los distintos tipos de exposiciones y/o abrigos meteorológicos sobre las series termométricas más largas (NORDLI *et al.*, 1997). Observaciones pareadas de la temperatura del aire en garita Montsouris y Stevenson, y modelización de condiciones antiguas de exposición, son técnicas recomendadas por la OMM para minimizar este sesgo (AGUILAR *et al.*, 2003). Por ejemplo, BRUNET *et al.* (2004) reprodujeron réplicas del abrigo meteorológico abierto de Montsouris en Murcia y A Coruña, y realizaron mediciones pareadas respecto a las garitas tipo Stevenson en el marco del proyecto SCREEN («Evaluación y minimización del sesgo incorporado en las series más largas de la temperatura del aire en España asociado al cambio en la exposición de los termómetros», REN2002-0091/CLI). El objeto del mismo fue estimar la magnitud y signo del sesgo que los abrigos tipo Montsouris introdujeron en las series largas de temperatura del aire, y obtener los factores de corrección de este efecto artificial a partir de funciones de transferencia (BRUNET *et al.*, 2006). Medidas pareadas Montsouris *versus* Stevenson también fueron realizadas en el observatorio meteorológico de Adelaida (Australia) entre 1887 y 1948 (NICHOLLS *et al.*, 1996). El efecto de la garita tipo Montsouris es sobreestimar la temperatura máxima del aire, y subestimar en

menor magnitud la temperatura mínima (NICHOLLS *et al.*, 1996; BRUNET *et al.*, 2004). Otros experimentos fueron desarrollados por: MARRIOT, 1879; GILL, 1882; HAZEN, 1885; MARGARY, 1924; DRUMMOND, 1943; CHANDLER, 1965; SPARKS, 1972; LAING, 1977; ANDERSSON y MATTISSON, 1991; RICHARDS *et al.*, 1992; BÖHM, 2001; VAN DER MEULEN, 2003; BRUNET *et al.*, 2004; BRUNETTI *et al.*, 2006, VAN DER MEULEN y BRANDSMA, 2008, entre otros muchos. Además, desde comienzos del s. XX también se reconoció el impacto de la garita tipo Stevenson en la medida de la temperatura (KOPPEN, 1913).

Aunque la OMM dispone como método de observación el medir la temperatura del aire en el interior de abrigo meteorológico, en este trabajo se presenta un estudio experimental alternativo cuyo objetivo es cuantificar la respuesta de la temperatura mínima del aire a condiciones de exposición termométrica con y sin protección de garita meteorológica. En los últimos años se han impulsado este tipo de investigaciones relacionadas con instrumentos y técnicas de observación en la evaluación de tendencias y variabilidad de la temperatura del aire en el marco de la hipótesis del cambio climático por causa antropogénica.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. Diseño experimental

Para llevar a cabo este estudio experimental se realizaron medidas simultáneas de la temperatura del aire dentro y fuera de garita en la estación meteorológica oficial de Villena-Ciudad (38°38'N-0°51'O; 524 m; Código 8007E, Agencia Estatal de Meteorología, AEMET), de clima mediterráneo continental (sureste de la Península Ibérica, PI). La estación meteorológica está situada en el centro del núcleo urbano de la ciudad de Villena (interior de Alicante; cuenca alta del río Vinalopó), en el terrado de un edificio de aproximadamente 25 m de altura (7º piso). A pesar de que la localización del observatorio meteorológico no es la más adecuada para realizar mediciones de la temperatura del aire, se tomaron las precauciones necesarias para minimizar el impacto del suelo del terrado y de las edificaciones próximas. En este sentido, la temperatura del aire se midió a una distancia de 2.40 m respecto al suelo del terrado, con el objeto de reducir el posible efecto del mismo.

La Figura 1 muestra la localización de la estación meteorológica y una vista de detalle de la garita meteorológica. El soporte de abrigo meteorológico utilizado es de tipo ventilado, con una puerta delantera y dos laterales de persiana veneciana (7 listones biselados para cada), y plancha cerrada en la parte trasera. Las dimensiones son 26cm de alto, 26cm de profundidad y 25.5cm de ancho, resultando en un volumen interior de garita de 0.02m³. El techo de la garita, ligeramente inclinado para facilitar la evacuación directa de la precipitación, está compuesto por una plancha sencilla de 30cmx30cm, es decir 0.09m², sin chimenea, y en el suelo de la garita hay 36 agujeros muy pequeños que favorecen la libre circulación del aire y la ventilación dentro del abrigo termométrico. El material de la garita es madera de pino macizo pintada en blanco, para evitar la absorción de la radiación exterior. Aunque el abrigo utilizado no responde a una réplica del tipo Stevenson, sí es similar a soportes del tipo pseudo-garita. Los instrumentos sensores corresponden a dos termo-higrómetros digitales TFA de idénticas características técnicas, con una resolución de temperatura y humedad relativa del aire de 0.1°C y 1% y una precisión de ±1°C y ±3%, respectivamente. En el subapartado 2.2 de esta sección se describe la calibración y/o ajuste previo entre los dos termo-higrómetros utilizados en este estudio experimental.

Las observaciones en pareado de la temperatura del aire se realizaron en condiciones atmosféricas sin precipitación y cubrieron un alto volumen de datos diarios (263 días; 72.1%) durante un periodo anual: del 1-Mar-2007 al 29-Feb-2008. La temperatura nocturna del aire, que para todas las jornadas correspondió al valor mínimo diario, fue medida desde el ocaso al orto, aproximadamente de 21 a 09h UTC (CHANDLER, 1964), y se asignó a la jornada correspondiente al orto. En el interior del abrigo termométrico ventilado, justamente bajo el techo, se apoya un travesaño del que cuelga a 12.5 cm el instrumento sensor interior (TH1), mientras que fuera y sin protección, a una distancia de 36 cm y mirando al N (“north-wall” de la garita) se situó el termo-higrómetro digital sin protección (TH2). La escasa distancia que separa ambos sensores aseguró la calidad de la medición termométrica dual.

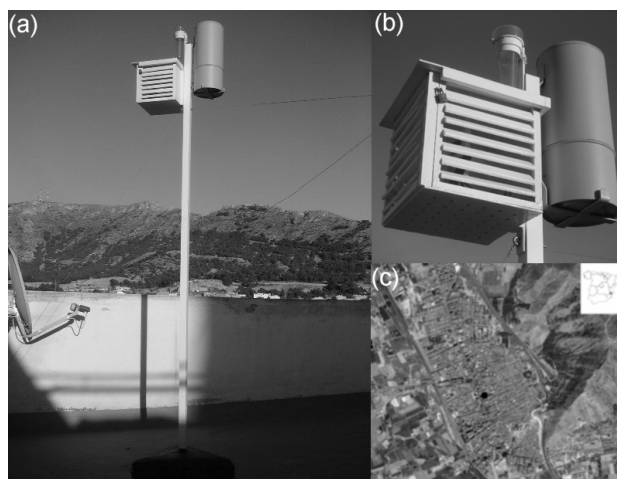


Fig. 1: (a) Vista general de la estación meteorológica oficial Villena-Ciudad. (b) Imagen de detalle de la garita meteorológica de tipo ventilado. (c) Vista aérea de la localización de la estación en el centro de la ciudad de Villena (indicada con un punto negro)

2.2. Calibración de los sensores

Previamente a la presentación de los resultados, es necesario conocer la desviación en la medida de la temperatura del aire entre los sensores TH1 (con protección dentro de garita) y TH2 (sin protección fuera de garita), con el objeto de asegurar la correcta evaluación de la respuesta de la temperatura mínima del aire a diferentes condiciones de exposición termométrica. El procedimiento más sencillo para su cálculo fue tomando las temperaturas máximas diurnas registradas por ambos sensores en el interior de la garita meteorológica durante los 263 días de experimentación (descontando seis días sin datos, es decir, 257 medidas). La Tabla 1 presenta los estadísticos descriptivos de las diferencias de temperatura: (TH1)-(TH2). Las mediciones termométricas simultáneas entre ambos termómetros pueden variar entre un mínimo de -2.2°C y un máximo de 0.9°C , aunque el rango entre el primer (-0.1°C) y tercer cuartil (0.3°C) indica que las diferencias no superan en general 0.5°C . Por tanto, el resultado principal es que el ajuste y/o bondad entre ambos instrumentos de medida es muy bueno, puesto que en promedio la diferencia de temperatura del aire entre ambos termo-higrómetros es de tan sólo 0.05°C , con una mediana de 0.10°C . Este dato asegura la calidad de

las mediciones pareadas en este trabajo experimental, resultando las diferencias detectadas del efecto asociado a la diferente exposición, es decir, con y sin protección.

Además, los datos diarios de temperatura del aire registrados en los sensores TH1 y TH2 fueron validados de forma manual con la finalidad de certificar la fiabilidad de los resultados que a continuación se presentan.

Mínima	1er Cuartil	Media	Mediana	3er Cuartil	Máxima
-2.20	-0.10	0.05	0.10	0.30	0.90

Tabla 1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS DIFERENCIAS DE TEMPERATURA MAXIMA DEL AIRE (°C) MEDIDA ENTRE EL TH1 Y TH2 EN EL INTERIOR DE LA GARITA METEOROLÓGICA

3. RESULTADOS

Estudios experimentales previos han comprobado que el impacto del sesgo artificial asociado al tipo de garita meteorológica depende directamente de las condiciones atmosféricas, de la época del año y del momento del día, y del parámetro térmico inspeccionado (PARKER, 1994; BRUNET *et al.*, 2004). En este sentido, en el subapartado 3.1 se analiza la magnitud y signo de las diferencias en la temperatura mínima del aire medida con y sin protección; en el subapartado 3.2 se muestran las diferencias térmicas mensuales detectadas; y por último en el subapartado 3.3 se da cuenta del efecto de un elemento meteorológico (la humedad relativa del aire) en las diferencias de la temperatura nocturna del aire.

3.1. Magnitud y signo de las diferencias en la temperatura mínima

Para cada uno de los 263 días en los cuales se realizó este experimento se calcularon las diferencias de la temperatura mínima del aire entre el TH1 (dentro de la garita) y TH2 (fuera de la garita). A partir de esta nueva serie de diferencias térmicas se obtuvo su correspondiente resumen estadístico, que se presenta en la Tabla 2.

Mínima	1er Cuartil	Media	Mediana	3er Cuartil	Máxima
-0.60	1.30	1.60	1.70	2.00	4.80

Tabla 2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS DIFERENCIAS DE TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE (°C) MEDIDA DENTRO (TH1) Y FUERA (TH2) DE LA GARITA METEOROLÓGICA

La temperatura mínima del aire medida fuera de la protección de la garita meteorológica (TH2) es más baja respecto a aquella registrada en el interior de la misma (TH1). Esto se debe a que el sensor de temperatura ubicado en el exterior se encuentra expuesto directamente a la radiación terrestre de onda larga y, por tanto, está afectado por la pérdida de calor radiativo que opera durante la noche. En promedio la magnitud de esta diferencia de signo positivo (temperatura

mínima más elevada dentro de la garita meteorológica) es de 1.6°C , muy similar a la mediana, de 1.7°C . El rango intercuartílico varía entre 1.3°C para el primer cuartil y 2.0°C para el tercer cuartil, lo cual pone de manifiesto que la diferencia térmica positiva tiende a oscilar entre ambos valores.

Las diferencias térmicas extremas también resultan interesantes. Destaca entre ellas la diferencia máxima de 4.8°C registrada en la madrugada del día 8 de febrero de 2008. En el interior de la garita meteorológica la temperatura mínima medida por el sensor TH1 fue de 0.9°C , mientras que en el exterior el sensor TH2 registró -3.9°C . Esta diferencia térmica estuvo asociada a una situación atmosférica de fuerte inversión térmica nocturna, acompañada de cielos despejados y débiles velocidades de viento (VAN DER MEULEN y BRANDSMA, 2008). Esta subestimación de las temperaturas nocturnas ha quedado documentada bajo situaciones de fuerte inversión térmica en los experimentos realizados con garitas abiertas tipo Montsouris (BRUNET *et al.*, 2006). Como excepción se detectaron dos jornadas en las cuales la temperatura mínima nocturna fue más baja en el sensor TH1, es decir, dentro de la garita. El 3 de agosto de 2007 y el 25 de febrero de 2008 las diferencias de temperatura fueron de -0.1°C y -0.6°C , respectivamente. La jornada del 3 de agosto correspondió con una situación de vientos moderados del E y ENE, mientras el día 25 de febrero la inversión térmica nocturna quedó interrumpida por la presencia de cielos cubiertos.

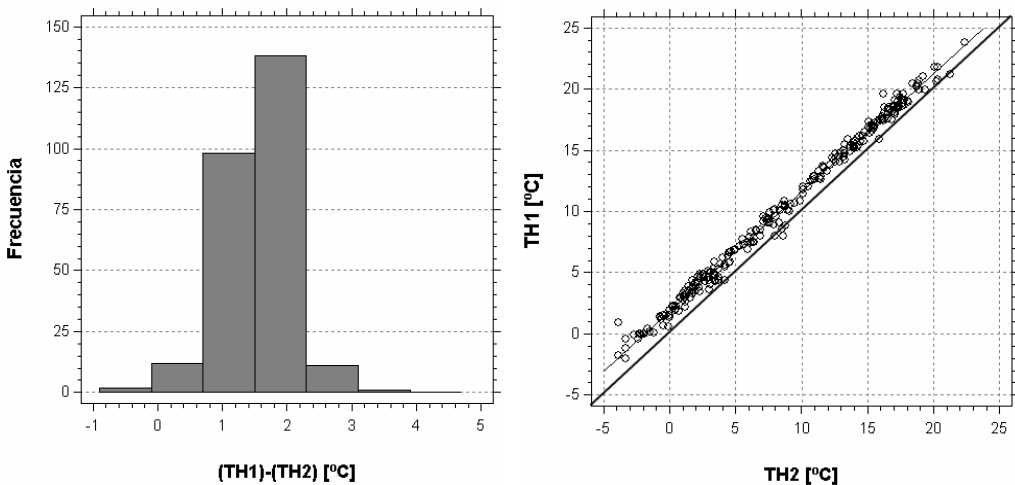


Fig. 2 (izquierda): Histograma de las diferencias de temperatura mínima del aire ($^{\circ}\text{C}$) medida dentro (TH1) y fuera (TH2) de la garita meteorológica. Fig. 3 (derecha): *Scatterplot* de la temperatura mínima de aire medida en pareado dentro (TH1) y fuera (TH2) de la garita meteorológica. La bisectriz del cuadrante representa la recta de igual temperatura entre ambos sensores

La Figura 2 muestra el histograma de frecuencias de las diferencias de la temperatura mínima, donde se observa que el intervalo de clase de 1.6 a 2.0°C es el más frecuente de ellos. La Figura 3 despliega la nube de puntos de las temperaturas mínimas nocturnas registradas por ambos sensores. Estos dos gráficos ratifican que la temperatura mínima del aire está

subestimada en el sensor situado fuera de la garita, sin protección frente a la radiación terrestre de onda larga.

3.2. Diferencias térmicas mensuales

La subestimación de las temperaturas mínimas sin la protección del abrigo termométrico es mayor preferentemente en los meses invernales, como recoge la Tabla 3 referente a los estadísticos descriptivos de la serie de diferencias térmicas. Los valores medios alcanzan máximos en los meses de febrero y marzo, también mayo, con 1.8°C, seguidos por noviembre y enero con 1.7°C. En cambio, el promedio de las diferencias térmicas es mínimo en agosto con 1.2°C, al que sigue el mes de septiembre con 1.3°C. Estas diferencias térmicas mensuales son indicativas de un mayor efecto de la pérdida de calor radiativo nocturno del sensor exterior en situaciones de calma, cielos despejados, inversión térmica y fuerte irradiación nocturna, propia de los meses fríos del año.

La estacionalidad en las diferencias térmicas entre ambos sensores también es perceptible en sus valores extremos mensuales, que aparecen también tabulados en la Tabla 3. La máxima diferencia térmica, de 4.8°C, ocurre en el mes de febrero, y corresponde al episodio analizado en el subapartado anterior. La diferencia térmica máxima más baja tiene lugar en septiembre, con 2.1°C. Las diferencias térmicas mínimas no muestran claramente la estacionalidad en la magnitud asociada a la distinta exposición termométrica.

La Figura 4 presenta la magnitud y signo de las diferencias térmicas entre la temperatura mínima del aire de los sensores TH1 y TH2 desde marzo de 2007 a febrero de 2008.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Media	1.7	1.8	1.8	1.6	1.8	1.5	1.6	1.2	1.3	1.5	1.7	1.6	1.6
Máxima	2.5	4.8	2.2	2.2	2.5	2.2	3.4	2.2	2.1	2.5	2.9	2.6	4.8
Mínima	0.1	-0.6	0.9	0.9	1.2	0.8	1.0	-0.1	0.0	1.1	0.2	0.0	-0.6
Desv.T.	0.6	1.1	0.3	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6	0.6
NºValores	27	18	18	11	20	26	29	19	19	19	28	29	263

Tabla 3: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS DIFERENCIAS MENSUALES DE TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE (°C) MEDIDA DENTRO (TH1) Y FUERA (TH2) DE LA GARITA METEOROLÓGICA

3.3. Efecto de la humedad relativa del aire en las diferencias térmicas

Las condiciones atmosféricas, principalmente la velocidad del viento (influencia advectiva), la cobertura nubosa (influencia radiativa), así como la humedad relativa del aire, tienen un efecto directo en el sesgo artificial introducido por la garita meteorológica en la temperatura del aire (PARKER, 1995). Debido a que en la estación termo-pluviómetrica de Villena-Ciudad no se disponen de datos de viento y de cobertura nubosa, en este trabajo experimental se utilizó la humedad relativa del aire para comprobar el posible impacto sobre la serie de diferencias térmicas.

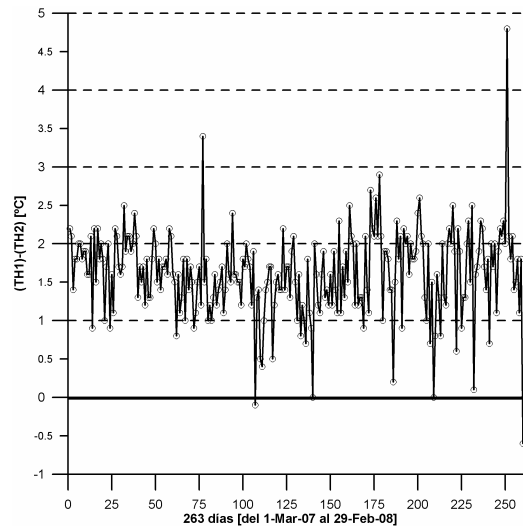


Fig. 4: Diferencias diarias de la temperatura mínima del aire medida en pareado dentro (TH1) y fuera (TH2) de la garita meteorológica

El dato diario de humedad relativa máxima registrado en el interior de la garita meteorológica durante la noche fue utilizado para cuantificar el posible impacto de este elemento meteorológico. La hipótesis de partida es que a mayor humedad relativa del aire, menor diferencia térmica entre los sensores con y sin protección.

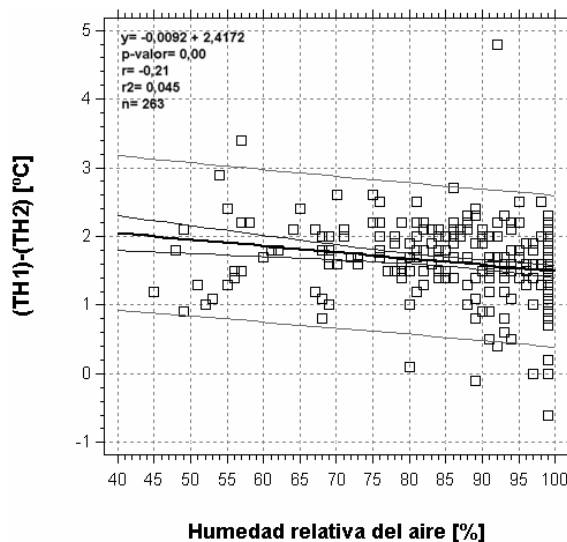


Fig. 5: Scatterplot de las diferencias de la temperatura mínima del aire medida en pareado dentro (TH1) y fuera (TH2) de la garita meteorológica en relación a la humedad relativa del aire. En el gráfico están representados los intervalos de predicción y nivel de confianza (95%)

La Figura 5 presenta el modelo de regresión lineal simple entre la humedad relativa del aire (variable independiente) y la serie de diferencias térmicas (variable dependiente). El resultado obtenido es que se detecta una relación relativamente débil entre ambas variables, con una recta de regresión lineal negativa y un coeficiente de correlación de -0.21. El coeficiente de determinación es de 0,045, lo que indica que la ecuación de regresión explica un 4.5% de la varianza de las diferencias térmicas. El p-valor es $\alpha = 0.00$ por lo que existe una relación estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 99%. En conclusión, se detecta una leve influencia de este parámetro atmosférico sobre la serie de diferencias térmicas, de tal modo que a mayor fracción de saturación las diferencias térmicas se reducen débilmente.

4. CONCLUSIONES

Aunque la respuesta de la temperatura mínima del aire a condiciones de exposición con y sin protección está directamente condicionada por la localización (terrado) y modelo de garita meteorológica utilizados, en esta primera comparación experimental se ha cuantificado la magnitud y signo en las condiciones de exposición termométrica (sin protección y dentro de garita), se han analizado las diferencias térmicas mensuales, y se ha estudiado la humedad relativa del aire como variable meteorológica que matiza este efecto. Los resultados principales se resumen en los siguientes:

- (i) La temperatura mínima del aire medida en condiciones de exposición sin protección se subestima en 1.6°C en promedio, debido al impacto de la radiación terrestre de onda larga sobre el sensor termométrico.
- (ii) La subestimación de la temperatura mínima del aire es máxima en los meses invernales debido a una mayor irradiación nocturna, y mínima en verano.
- (iii) La relación lineal simple entre la serie de diferencias térmicas y la humedad del aire es relativamente débil.

En estudios futuros se realizará este experimento en un área rural, utilizando el abrigo meteorológico ventilado tipo Stevenson, y se analizarán otras variables meteorológicas (velocidad de viento y cobertura nubosa) con objeto de mejorar los resultados preliminares presentados en este trabajo experimental.

5. AGRADECIMIENTOS

La Fundación CEAM está cofinanciada por la Generalitat Valenciana y BANCAIXA, y participa en el Programa CONSOLIDER - INGENIO 2010 (Proyecto GRACCIE). Este trabajo se ha llevado a cabo en el seno del *Grup de Climatologia* de la Universitat de Barcelona (2005SGR 01034) y del proyecto IPIBEX (CGL2005-07664-C02-01).

6. REFERENCIAS

- AGUILAR, E., AUER, I., BRUNET, M., PETERSON, T.C. y WIERINGA, J. (2003). *Guidelines on climate metadata and homogenization*. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186, World Meteorological Organization, Génova, 52 pp.
- ANDERSSON, T. y MATTISSON I. (1991). *A field test of thermometer screens*. SMHI RMK No. 62, Swedish Meteorological Institute, Norköping.
- BÖHM, R., AUER, I., BRUNETTI, M., MAUGERI, M., NANNI, T. y SCHÖNER W. (2001). “Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series”. *International Journal of Climatology*, 21, pp. 1779-1801.
- BRUNET, M., BAÑÓN, M., GARCÍA, F., AGUILAR, E., SALADIÉ, O., SIGRÓ, J., ASÍN, J. y LÓPEZ, D. (2004). “Una aproximación experimental tendente a la minimización del sesgo artificial asociado al tipo de garita meteorológica mediante la observación dual de la temperatura del aire”. *La Meteorología y el Clima Atlánticos*. Publicaciones de la Asociación Española de Meteorología, Badajoz, pp. 93-103.
- BRUNET, M., SALADIÉ, O., JONES, P.D., SIGRÓ, J., AGUILAR, E., MOBERG, A., LISTER, D., WALTHER, A., LOPEZ, D. y ALMARZA, C. (2006). “The development of a new dataset of spanish daily adjusted temperature series (SDATS) (1850-2003)”. *International Journal of Climatology*, 26, pp. 1777-1802.
- BRUNETTI, M., MAUGERI, M., MONTI, F. y NANNI, T. (2006). “Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series”. *International Journal of Climatology*, 26, pp. 345-381.
- CHANDLER, T.J. (1964). “North-wall and Stevenson screen temperatures at Kew Observatory”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 90, pp. 332-333.
- DRUMMOND, A.J. (1943). “Cold winters at Kew Observatory, 1783-1942”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 69, pp. 154.
- GALL, R., YOUNG, K., SCHOTLAND, R. y SCHMITZ, J. (1992). “The recent maximum temperature anomalies in Tucson: are they real or an instrumental problem?”. *Journal of Climate*, 5, pp. 657-665.
- GILL, D. (1882). “On the effect of different kinds of thermometer screens, and of different exposures, in estimating the diurnal range of temperature at the Royal Observatory, Cape of Good Hope”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 8, pp. 238-243.
- GILL, G. C. (1983). *Comparison testing of selected naturally ventilated solar radiation shields*. Report to NOAA Data Buoy Office for Development Contract No. NA-82-0A-A-266, 15 pp.
- HAZEN, H.A. (1885). *Thermometer exposure*. US Signal Service, Professional Paper No. XVIII, US War Dep. Signal Office, Washington, DC, 32 pp.
- JONES, P.D., RAPER, S.C.B., BRADLEY, R.S., DIAZ, H.F., KELLY, P.M. y WIGLEY, T.M.L. (1986). “Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984”. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25, pp. 161-179.
- KOPPEN, W. (1913). “Uniform thermometer set-up for meteorological stations for the determination of air temperature and humidity”. *Meteorol. Zeitschr.*, 30, pp. 474-488.
- LAING, J. (1977). “Maximum summer temperatures recorded in Glaisher stands and Stevenson screens”. *Meteorological Magazine*, 106, pp. 220-228.
- MARGARY, I.D. (1924). “A comparison of forty years observations of maximum and minimum temperatures as recorded in both screens at Camden Square, London”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50, pp. 209-226 y pp. 363.

- MARRIOT, W. (1879). "Thermometer exposure – wall versus Stevenson screens". *Quarterly of the Royal Meteorological Society*, 5, pp. 217-221.
- MITCHELL, J.M. Jr. (1953). "On the cause of instrumentally observed secular temperature trends". *Journal of Meteorology*, 10, pp. 244-261.
- NICHOLLS, N., TAPP, R., BURROWS, K. y RICHARDS, D. (1996). "Historical thermometer exposures in Australia". *International Journal of Climatology*, 16, pp. 705-710.
- NORDLI, P.O., ALEXANDERSSON, H., FRICH, P., FORLAND, E.J., HEINO, R., JÓNSSON, T., TUOMENVIRTA, H. y TVEITO, O.E. (1997). "The effect of radiation screens on Nordic times series of mean temperature". *International Journal of Climatology*, 17, pp. 1667-1681.
- PARKER, D.E. (1994). "Effects of changing exposure of thermometers at land stations". *International Journal of Climatology*, 14, pp. 1-31.
- PARKER, D.E. (1995). "Maximum and minimum temperatures: a backward and a forward look". *Atmospheric Research*, 37, pp. 3-9.
- PERRY, M.C., PRIOR, M.J. y PARKER, D.E. (2007). "An assessment of the suitability of a plastinc thermometer screen for climatic data collection". *International Journal of Climatology*, 27, pp. 267-276.
- RICHARDS, D., WILSON, G., SHENG HOW, K., KANG, S., TAN, A. y CHEUNG, S. (1992). *Comparison of temperature measures*. Report for Bureau of Meteorology Research Centre, Swinburne Univ. of Technology, 176 pp.
- QUAYLE, R.G., EASTERLING, D.R., KARL, T.R. y HUGHES, P.Y. (1991). "Effects of recent thermometer changes in the cooperative station network". *Bulletin of American Meteorological Society*, 72, pp. 1718-1723.
- RICHARDSON, S. J. y BROCK, F. V. (1995). "Passive solar radiation shields: energy budget – optimizing shield design". 9th Symposium on meteorological observations and instrumentation, American Meteorological Society, Charlotte, NC, pp. 259.
- SPARKS, W.R. (1972). *The effect of thermometer screen design on the observed temperature*. WMO No 315.
- VAN DER MEULEN, J.P. (2003). *WMO hygrometer and thermometer screen intercomparison*. CIMO/OPAG-SURFACE//ET-SBII&CM-1/IOC-1/Doc. 6.3(2), p. 3
- VAN DER MEULEN, J.P. y BRANDSMA, T. (2008). "Thermometer screen intercomparison in De Bilt (The Netherlands), Part I: Understanding the weather-dependent temperature differences". *International Journal of Climatology*, 28, pp. 371-387.
- WARNE, J. (1999). *A preliminary investigation of temperature screen design and their impacts on temperature measurements*. Instrument Test Report Number 649, Bureau of Meteorology, Australia, 10 pp.
- WMO (2006). *WMO guide to meteorological instruments and methods of observation*. WMO-No. 8, Ginebra.